

Сортовые особенности фотосинтетической активности овса посевного Тюменской селекции при внесении минеральных удобрений

А. В. Любимова¹, Д. И. Еремин¹✉

¹ Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, Тюмень, Россия

✉ E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Аннотация. Цель – изучение сортовых особенностей фотосинтетической эффективности овса при внесении удобрений в условиях Западной Сибири. **Методы.** Исследования проводили на опытном поле, расположенном в северной лесостепи Зауралья. Определяли фотосинтетический потенциал и чистую продуктивность фотосинтеза методом Ничипоровича. **Результаты.** Был изучен характер формирования ассимиляционной поверхности и накопления биомассы сортов овса Отрада, Талисман и Фома при различном уровне минерального питания. Рассчитаны фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтеза. Определена доля влияния погодных условий, агрофона и сорта на изучаемые показатели. Сорт Фома характеризовался максимальной облиственностью по сравнению с Талисманом и Отрадой. На естественном агрофоне его ассимиляционная поверхность в фазу выметывания достигала $36,0 \pm 5,5$ тыс. м², у Отрады и Талисмана – 28,1 и 24,0 тыс. м² на 1 га посева. Выявлена очень сильная вариабельность площади листовой поверхности у Отрады ($C_v = 24\%$). Применение минеральных удобрений усиливает развитие листового аппарата на 44–50 % и вызывает конкуренцию между растениями овса. Выявлена тесная положительная корреляция между площадью листьев в фазу выметывания и урожайностью ($r = 0,72$). На площадь ассимиляционной поверхности овса влияют погодные условия (37 %); уровень питания (30 %) и сорт (25 %). Установлено, что сорта Отрада и Фома имеют одинаковую динамику накопления и к фазе выметывания формируют максимальную фотосинтезирующую биомассу. Характер накопления биомассы на 39 % зависит от погодных условий; на 29 % – от минеральных удобрений и на 17 % – от генотипа сорта. Продуктивность изучаемых сортов формируется за счет увеличения ассимиляционной поверхности, а не повышения эффективности фотосинтеза. **Научная новизна.** Впервые был определен фотосинтетический потенциал и выявлена эффективность чистой продуктивности фотосинтеза сортов овса посевного Тюменской селекции. Установлена доля влияния различных факторов в формировании урожая овса посевного в условиях Северного Зауралья.

Ключевые слова: биохимия и физиология овса, фотосинтетический потенциал, отзывчивость на минеральные удобрения, Фома, Отрада, чистая продуктивность фотосинтеза, поглощение диоксида углерода, генетическое разнообразие.

Для цитирования: Любимова А. В., Еремин Д. И. Сортовые особенности фотосинтетической активности овса посевного Тюменской селекции при внесении минеральных удобрений // Аграрный вестник Урала. 2021. № 12 (215). С. 59–76. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-59-76.

Дата поступления статьи: 28.10.2021, **дата рецензирования:** 08.11.2021, **дата принятия:** 12.11.2021.

Постановка проблемы (Introduction)

Все растения на планете объединяет общий биохимический процесс превращения солнечной энергии в химическую, которая многократно покрывает расходы на дыхание и создает материальную базу для их роста и развития. По подсчетам ученых, 90–95 % сухой массы растения образуется в процессе фотосинтеза за счет поглощения диоксида углерода из атмосферы [1, с. 155], [2, с. 930], [3, с. 1338]. Эффективность фотосинтеза зависит от многих факторов, и нельзя особо выделить какой-либо из них. В одних и тех же условиях разные виды растений с различной

эффективностью поглощают солнечную энергию и перерабатывают углекислый газ в органические вещества [4, с. 135], [5, с. 61].

Овес посевной – растение умеренного климата. Он значительно лучше переносит пониженную температуру на начальных этапах развития и в период созревания, чем кукуруза, пшеница и ячмень [6, с. 30], [7, с. 14]. Для эффективного поглощения фотосинтетической активной радиации (ФАР) овес формирует мощный листовой аппарат, за счет которого способен дать урожай, не уступающий другим зерновым культурам, но при меньшей солнечной инсоляции

[8, с. 128], [9, с. 1185], [10, с. 90]. Максимальная продуктивность овса требует сбалансированной системы минерального питания и правильно подобранной технологии возделывания [11, с. 35], [12, с. 37], [13, с. 172]. Также важна густота стояния, от которой зависит эффективность работы листового аппарата [14, с. 191].

Создание современных сортов интенсивного типа подразумевает быструю реакцию растений на изменение уровня минерального питания, в том числе увеличение площади листовой поверхности и срок ее эффективного фотосинтеза. В настоящее время такие сорта имеют важный аспект – максимально возможное поглощение диоксида углерода из атмосферы и перевод его в полезные органические вещества [15, с. 112]. Поэтому перед селекционерами ставятся новые задачи, решение которых позволит человечеству избежать глобальных проблем экологического характера в будущем.

Целью наших исследований было изучение эффективности фотосинтеза сортов овса посевного на различных уровнях минерального питания в условиях Северного Зауралья.

Методология и методы исследования (Methods)

Полевые опыты с сортами овса посевного Тюменской селекции проведены на опытном поле НИИСХ Северного Зауралья – филиале ТюмНЦ СО РАН в период с 2018 по 2020 гг. Почва темно-серая лесная, тяжелосуглинистая. Мощность пахотного слоя – 25–27 см, содержание гумуса в слое – 0–20 см 4,5 %; обменная кислотность – 5,6–5,8 ед. Сумма поглощенных оснований – 25 ммоль (экв) / 100 г почвы. Система основной обработки – отвальная. Севооборот: пар занятый (горохо-овсяная смесь) – яровая пшеница – овес посевной. Весной проводили общепринятую предпосевную обработку и посев сеялкой СЗП-3,6 [16, с. 87]. Удобрения вносили согласно схеме опыта. Обработка гербицидами общим фоном.

В опыте изучали следующие сорта: Отрада – создан методом гибридизации сортов (WW 170079 × Рс 39) × (Mutica 600 × Risto) с последующим индивидуальным отбором в F_4 . В 2013 г. сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений по Тюменской области. Фома – гибридизация сортов (WW 170079 × Рс 39) × (Mutica 600 × Risto) с последующим индивидуальным отбором, сибс. Включен в Государственный реестр в 2014 г. Талисман был создан методом индивидуального отбора из гибридной комбинации Flamingsnova (к-13401) × Метис. Включен в Государственный реестр в 2002 г.

Сорта овса высевали на следующих агрофонах:

1. Естественный, удобрения не вносили.
2. Средний, доза удобрений $N_{40}P_{10}$ кг/га, обеспечивающая получение планируемой урожайности 3,0 т/га зерна.
3. Повышенный, $N_{60}P_{40}$ – на планируемую урожайность 4,0 т/га.
4. Высокий ($N_{80}P_{60}$) – на планируемую урожайность 5,0 т/га.

Дозы рассчитывали методом элементарного баланса с учетом фактических запасов питательных

веществ в почве в весенний период. Внесение удобрений проводили под предпосевную культивацию сеялкой СКП-2,1 на глубину 10–15 см. В опыте применяли сложные удобрения.

Для определения площади листовой поверхности и биомассы проводили отбор растительных образцов на каждой делянке с площади 0,25 м² в 8-кратной повторности при наступлении следующих фенологических фаз развития овса посевного: кущение; выход в трубку, выметывание и молочная спелость.

Площадь листовой поверхности рассчитывали по формуле:

$$S_n = a \times b \times 0,67, (1)$$

где a – наибольшая ширина листа, м;

b – длина листа, м;

0,67 – коэффициент конфигурации листа.

Фотосинтетический потенциал (ФП):

$$\text{ФП} = \frac{L_1 + L_2}{1000} \times T, (2)$$

где: L_1 и L_2 – площадь листовой поверхности в определяемые стадии развития, тыс. м²/га;

T – длительность межфазного периода, суток;

1000 – коэффициент перевода.

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ)

$$\text{ЧПФ} = \frac{(B_1 - B_2) \times 100}{0,5 \times (L_1 + L_2) \times T} (3)$$

где B_1 и B_2 – сухая биомасса овса в изучаемые стадии развития, ц/га;

100 – коэффициент перевода.

Статистическую обработку результатов вели в Microsoft Excel с надстройкой AgCStat [17, с. 564].

Результаты (Results)

Май 2018 года характеризовался обильными осадками при незначительном дефиците тепла. Это положительно сказалось на появлении всходов изучаемых сортов овса. В июне выпало 58 мм осадков, что составило 92 % от среднеголетних значений (таблица 1). Температура воздуха в этот месяц была на 1,5 °С ниже нормы. Хорошие запасы продуктивной влаги, сформировавшиеся в мае, и умеренно теплая погода июня благоприятно отразились на процессе кущения и наборе вегетативной массы овса на всех вариантах. Средняя температура воздуха в июле составила 21,3 °С при норме 18,0 °С, что соответствовало умеренно жаркой погоде. В этом месяце выпало всего 61 % осадков от среднеголетних значений. Негативного влияния погодных условий в июле на рост и развитие овса отмечено не было – почва в корнеобитаемой зоне характеризовалась средней степенью увлажнения. Налив и созревание овса в 2018 году проходили при умеренно теплой погоде с обильными дождями.

Погодные условия 2019 года отличались от таковых 2018 года, который в целом можно было охарактеризовать как влажный. Количество осадков, близкое со среднеголетним значениям, было только в мае – 40 мм. В летние месяцы превышение составило 21–29 %, что обуславливало отсутствие дефицита

воды на протяжении всей вегетации овса. Температура воздуха в мае была на 2,4 °С выше нормы, что обеспечило быстрый прогрев пахотного слоя и дружные всходы овса. В июне был отмечен незначительный недостаток тепла – средняя температура воздуха была равна 14,6 °С при норме 16 °С. Июль был менее теплым по сравнению с 2018 годом, но обильные осадки (81 мм) стали причиной высокой влажности воздуха в посевах овса. Это создало благоприятные условия для развития листовых болезней, особенно на нижних ярусах растений. Схожие погодные условия были и в августе.

Третий год исследований (2020) выделялся жаркой погодой в мае. Средняя температура воздуха была на 7,9 градуса выше нормы. Посев овса (третья декада мая) проводили при среднедекадной температуре 26,1 °С, что на 45 % выше нормы. Однако обильные осадки в первой и второй декадах мая обеспечили хорошее увлажнение пахотного слоя и стимулировали появление всходов зерновых культур.

Кущение овса, которое в лесостепи Зауралья обычно приходится на первую декаду июня, проходило в условиях жаркой погоды: среднедекадная температура составила 21,1 °С при норме 13,5 градуса. В этот период рядки овса не успели сомкнуться, что привело к сильному физическому испарению почвенной влаги из пахотного слоя. Этому способствовали сильные ветра. В июле установилась сухая и жаркая погода. За месяц выпало 19 мм осадков, что составило 23 % от среднемноголетних значений.

Сильные ветра усиливали потерю влаги из почвы, чем вызвали появление признаков засухи. В этом месяце отмечались потеря тургора листьев и признаки их увядания в дневное время. Налив и созревание зерна проходили при повышенной температуре, которая в среднем за август составила 20,6 °С при норме 14,9 градуса и умеренном увлажнении. За август выпало 54 мм осадков, что соответствовало 93 % нормы. Сложившиеся погодные условия июля и августа привели к ухудшению влагообеспеченности посевов и негативно отразились на формировании урожая овса.

Важным показателем потенциальной продуктивности сортов зерновых культур является площадь листовой поверхности, которая достаточно долго сохраняется в активном состоянии. Площадь ассимиляционной поверхности растений зависит как от генетического потенциала, так и от условий произрастания. Поэтому для формирования мощной облиственности зерновых культур необходим системный подход, основанный на знаниях биохимии, физиологии, генетики и агрохимии. Только в этом случае фактическая урожайность будет стремиться к потенциальной продуктивности сорта.

Результаты исследований показали, что площадь листьев изучаемых сортов овса варьировала в широком диапазоне в зависимости от этапов онтогенеза и уровня минерального питания (таблица 2).

Таблица 1
Погодные условия периода вегетации 2018–2020 гг.
(Тюменский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды)

Годы	Осадки, мм				% от среднемноголетних			
	Май	Июнь	Июль	Август	Май	Июнь	Июль	Август
2018	82	58	51	112	216	92	61	193
2019	40	81	102	70	105	129	121	121
2020	51	66	19	54	133	105	23	93
Средняя температура, °С					+/- к норме			
2018	7,9	14,4	21,3	15,5	-2,7	-1,5	3,3	0,6
2019	13,0	14,6	20,4	15,7	2,4	-1,4	2,4	0,8
2020	18,5	18,1	26,1	20,6	7,9	2,1	8,1	5,7

Table 1
Weather conditions of the growing season 2018–2020
(Tyumen Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring)

Years	Precipitation, mm				% of average years			
	May	June	July	August	May	June	July	August
2018	82	58	51	112	216	92	61	193
2019	40	81	102	70	105	129	121	121
2020	51	66	19	54	133	105	23	93
Average temperature, °C					+/- back to normal			
2018	7.9	14.4	21.3	15.5	-2.7	-1.5	3.3	0.6
2019	13.0	14.6	20.4	15.7	2.4	-1.4	2.4	0.8
2020	18.5	18.1	26.1	20.6	7.9	2.1	8.1	5.7

Таблица 2

Влияние минеральных удобрений на ассимиляционную поверхность овса посевного, тыс. м²/га (2018–2020 гг.)

Сорт	Уровень агрофона*	Фазы развития овса посевного							
		Кушение		Выход в трубку		Выметывание		Молочная спелость	
		\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %
Отрада	1	6,8 ± 1,1	17	22,4 ± 4,1	18	28,1 ± 6,9	24	13,0 ± 3,9	30
	2	6,6 ± 1,0	14	23,1 ± 4,4	19	28,8 ± 8,7	30	14,5 ± 4,6	32
	3	7,0 ± 1,1	16	27,9 ± 6,3	22	36,0 ± 10,1	28	17,8 ± 6,2	35
	4	7,8 ± 1,0	12	31,9 ± 6,7	21	43,5 ± 12,1	28	23,0 ± 9,8	43
Талисман	1	6,9 ± 1,2	17	21,0 ± 4,8	23	24,0 ± 5,0	21	14,6 ± 4,0	27
	2	6,6 ± 1,0	15	21,0 ± 3,4	16	25,7 ± 6,6	26	13,0 ± 4,9	38
	3	7,0 ± 1,1	16	23,9 ± 3,7	15	32,7 ± 6,3	19	15,8 ± 4,1	26
	4	7,7 ± 1,0	13	29,3 ± 5,1	18	38,2 ± 8,4	22	21,9 ± 10,6	48
Фома	1	7,6 ± 0,8	11	26,3 ± 4,8	18	36,0 ± 5,5	15	21,1 ± 4,0	19
	2	7,8 ± 0,7	9	26,9 ± 3,4	13	37,0 ± 5,6	15	21,6 ± 6,2	29
	3	8,4 ± 1,3	16	35,1 ± 7,7	22	50,8 ± 10,5	21	37,0 ± 12,9	35
	4	8,6 ± 1,4	16	40,0 ± 3,7	9	51,9 ± 6,6	13	41,0 ± 10,4	25

* 1 – естественный (без удобрений); 2 – средний (N₄₀P₁₀); 3 – повышенный (N₆₀P₄₀); 4 – высокий (N₈₀P₆₀).

Table 2

The effect of mineral fertilizers on the assimilation surface of oats, thousand m²/ha (2018–2020)

Variety	Agrophone level*	Phases of development of oats							
		Tillering		Stem elongation		Ear formation		Milky ripeness	
		\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %
Otrada	1	6.8 ± 1.1	17	22.4 ± 4.1	18	28.1 ± 6.9	24	13.0 ± 3.9	30
	2	6.6 ± 1.0	14	23.1 ± 4.4	19	28.8 ± 8.7	30	14.5 ± 4.6	32
	3	7.0 ± 1.1	16	27.9 ± 6.3	22	36.0 ± 10.1	28	17.8 ± 6.2	35
	4	7.8 ± 1.0	12	31.9 ± 6.7	21	43.5 ± 12.1	28	23.0 ± 9.8	43
Talisman	1	6.9 ± 1.2	17	21.0 ± 4.8	23	24.0 ± 5.0	21	14.6 ± 4.0	27
	2	6.6 ± 1.0	15	21.0 ± 3.4	16	25.7 ± 6.6	26	13.0 ± 4.9	38
	3	7.0 ± 1.1	16	23.9 ± 3.7	15	32.7 ± 6.3	19	15.8 ± 4.1	26
	4	7.7 ± 1.0	13	29.3 ± 5.1	18	38.2 ± 8.4	22	21.9 ± 10.6	48
Foma	1	7.6 ± 0.8	11	26.3 ± 4.8	18	36.0 ± 5.5	15	21.1 ± 4.0	19
	2	7.8 ± 0.7	9	26.9 ± 3.4	13	37.0 ± 5.6	15	21.6 ± 6.2	29
	3	8.4 ± 1.3	16	35.1 ± 7.7	22	50.8 ± 10.5	21	37.0 ± 12.9	35
	4	8.6 ± 1.4	16	40.0 ± 3.7	9	51.9 ± 6.6	13	41.0 ± 10.4	25

* 1 – natural (without fertilizers); 2 – medium (N₄₀P₁₀); 3 – elevated (N₆₀P₄₀); 4 – high (N₈₀P₆₀).

На естественном агрофоне во время кушения площадь ассимиляционной поверхности овса варьировала по сортам и вариантам с удобрениями в пределах от 6,6 до 8,6 тыс. м² на гектар. Сорта Отрада и Талисман не отличались друг от друга. Выделился только сорт Фома, площадь листьев которого на естественном агрофоне составила 7,6 ± 0,8 тыс. м², тогда как у Отрады было на 12 % меньше. Внесение удобрений для создания среднего (N₄₀P₁₀) и повышенного (N₆₀P₄₀) уровня агрофона не оказало достоверного влияния на ассимиляционную площадь листьев изучаемых сортов. И лишь на варианте с высоким уровнем минерального питания (N₈₀P₆₀) площадь листовой поверхности в кушение овса достоверно увеличилась до 8,6 ± 1,4 тыс. м² на 1 га.

Анализ коэффициента вариации показал, что в период кушения площадь листьев на контроле у сортов Отрада и Талисман имела среднюю степень изменчивости (Cv = 17 %), сорт Фома находился в той же категории, но имел меньший коэффициент варьирования – 11 %. Внесение удобрений уменьшило вариабельность площади листовой поверхности Отрады и Талисмана до 12–16 %. Сорт Фома отличался тем, что на варианте с внесением удобрений в дозе N₄₀P₁₀ кг/га Cv уменьшился до 9 %, но при дальнейшем повышении уровня минерального питания произошло резкое увеличение неоднородности посевов по площади ассимиляционной поверхности. Выявленные особенности указывают на то, что уже в период кушения овес имеет относительно высокую степень проявления

конкурентной борьбы в агрофитоценозе, вызванной, по нашему мнению, особенностями посева в рядки с междурядьем 15 см.

Также был проведен трехфакторный дисперсионный анализ площади листовой поверхности сортов овса в период кущения на разных фонах минерального питания. Было установлено достоверное влияние ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$) сорта (фактор А); агрофона (фактор В) и погодных условий вегетационного периода (фактор С). Ассимиляционная поверхность листьев овса в период кущения на 45 % зависела от погодных условий вегетационного периода; на 11 % – от минеральных удобрений. На долю генетических особенностей сорта приходилось 16 %. Взаимодействие источников вариации (АВ; ВС и АВС) было достоверным, но сила их влияния не достигала 5 %, а совокупное действие факторов А и С статистически не доказано ($F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$).

С кущения до выхода в трубку ассимиляционная поверхность овса увеличивается в 3–5 раз в зависимости от сорта и уровня минерального питания. На естественном агрофоне площадь листовой поверхности Отрады и Талисмана была равна $22,4 \pm 4,1$ и $21,0 \pm 4,8$ тыс. м² на 1 га соответственно. Сорт Фома характеризовался более высокими показателями ($26,3 \pm 4,8$ тыс. м²), но и он не достигал до оптимальной площади листьев, обеспечивающей высокую урожайность. Внесение удобрений в дозе $N_{40}P_{10}$ кг/га не оказало достоверного влияния – отклонения были в пределах ошибки опыта. Дальнейшее повышение уровня минерального питания благоприятно сказалось на наборе вегетативной массы овса – площадь листовой поверхности на варианте с дозой $N_{60}P_{40}$ кг/га у Отрады увеличилась до $27,9 \pm 6,3$ тыс. м² на гектар, что было на уровне сорта Фомы. Генетический потенциал сортов овса проявился на варианте с максимальной насыщенностью удобрениями. У Отрады площадь листьев в фазу выхода в трубку составила $31,9 \pm 6,7$; Талисмана – $29,3 \pm 5,1$; Фомы – $40,0 \pm 3,7$ тыс. м² на 1 га. Исходя из этого можно сделать вывод, что сорт Фома имеет более высокие шансы реализовать свою потенциальную продуктивность на высоком агрофоне.

Анализ вариабельности площади листовой поверхности в фазу выхода в трубку показал усиление конкурентной борьбы в посевах овса, которая усиливается с увеличением уровня минерального питания. Коэффициент вариации на контроле (без удобрений) у сорта Отрада составил 18 %, что соответствовало средней степени изменчивости, тогда как на вариантах с повышенным и высоким агрофонами вариабельность возросла до 22 %. Аналогичная ситуация проявляется у сорта Фома. Необходимо обратить внимание на резкое снижение коэффициента вариации (9 %) на варианте с внесением $N_{80}P_{60}$ кг/га. Столь сильное снижение степени изменчивости обусловлено частичной гибелью отдельных растений вследствие конкурентной борьбы и нарастанием более мощной листовой поверхности выживших экземпля-

ров – площадь листовой поверхности на этом варианте была максимальной – $40,0 \pm 3,7$ тыс. м² на 1 га. Установленный факт указывает на то, что для сортов овса Отрада и Фома на полях с высоким агрофоном (планируемая урожайность более 5,0 т/га) требуется изменить схему посева или норму высева.

В ходе трехфакторного дисперсионного анализа было установлено, что степень влияния погодных условий вегетации на площадь листовой поверхности к фазе выметывания уменьшилась до 28 %. Доля других факторов (сорт и удобрения) выросла до 24 и 33 % соответственно. Показатель степени влияния взаимодействия факторов также оставался незначительным и не превышал 3 %.

Максимальная площадь листовой поверхности овса, как отмечают исследователи из Белоруссии, формируется к фазе флагового листа и начинает постепенно уменьшаться за счет отмирания листьев нижних ярусов [13, с. 172]. В условиях Западной Сибири максимум нарастания листьев овса и других зерновых культур определяется фазой выметывания [5, с. 60], [14, с. 190].

Как показали наши исследования, максимальная степень облиственности овса посевного была отмечена в фазу выметывания. На контроле ассимиляционная поверхность составила у Отрады $28,1 \pm 6,9$; у Талисмана – $24,0 \pm 5,0$ тыс. м² на гектар посева. Сорт Фома выделялся более высокими значениями – $36,0 \pm 5,5$ тыс. м², что указывает на сортовую особенность. Влияния $N_{40}P_{10}$ на площадь листьев к фазе выметывания также обнаружено не было – отклонения были в пределах ошибки опыта. На повышенном ($N_{60}P_{40}$) и высоком ($N_{80}P_{60}$) агрофонах у сорта Фома ассимиляционная поверхность посевов в 5 раз превышала площадь поля – 50,8 и 51,9 тыс. м² соответственно, что создает все физиологические условия для получения максимальных урожаев. Чуть меньше площадь листьев на высоком агрофоне была у сорта Отрада – $43,5 \pm 12,1$ тыс. м² на 1 га посева, но в отличие от сорта Фома на повышенном агрофоне облиственность была значительно ниже. Талисман выделяется среди остальных сортов тем, что на высоком агрофоне сформировал на 35 % меньше площадь листьев.

Анализ степени вариабельности показал, что к фазе выметывания посева становятся еще более невыровненными по сравнению с предыдущей фазой. Минимальная вариабельность отмечена у сорта Фома, где коэффициент вариации составил 13–21 %, что соответствовало средней степени изменчивости. У сорта Отрада была зафиксирована высокая степень варьирования – 24–30 %. Результаты трехфакторного дисперсионного анализа представлены в таблице 3.

Показатель силы влияния погодных условий на площадь ассимиляционной поверхности овса увеличился на 36,5 %. Данный факт объясняется появлением новых факторов, которые зависят от погоды – болезней листьев, развитие которых может существенно уменьшить листовую поверхность. Как показали исследования, проведенные М. Н. Моисеевой, пора-

жаемость листьев овса зависит не только от сорта, но и от уровня минерального питания – на удобренных вариантах болезни развиваются существенно сильнее [11, с. 35]. Доля влияния удобрений на формирование ассимиляционной поверхности овса составляет 29,5 %; сорта – 24,5 %. Необходимо отметить тот факт, что взаимодействия источников вариации (AB, AC, BC, ABC) хоть и достоверны ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$), но сила их влияния не превышает 2 %.

В период выметывание – налива зерна площадь листовой поверхности начинает постепенно уменьшаться по ряду причин: развитие болезней, отток из нижних ярусов питательных веществ в зерно, затенение. К моменту молочной спелости ассимиляционная поверхность уменьшается в 1,5–2,0 раза относительно фазы выметывания. Однако это нельзя назвать положительным моментом, связанным с естественным онтогенезом овса. Для формирования высоких урожаев необходима не только высокая облиственность, но и сохранение ее как можно дольше. Только в этом случае зерно на высоких агрофонах сформируется крупным и будет обладать высокой натурой [18, с. 91]. Сорт Отрада к фазе молочной спелости уменьшил ассимиляционную поверхность до 13,0–23,0 тыс. м² на гектар с максимумом на высоком агрофоне. Коэффициент вариабельности также возрос до 30–43 %, что соответствовало высокой степени изменчивости показателя. Аналогичным было изменение у сорта Талисман.

Фома отличался от предыдущих сортов тем, что на естественном и среднем агрофонах облиственность была выше, достигая 21,6 тыс. м² на гектар. При этом коэффициент вариации был равен 19 и 29 % соответственно. На повышенном и высоком агрофо-

нах площадь листовой поверхности составила 37,0 ± 12,9 и 41,0 ± 10,4 тыс. м² на 1 га, а CV – 35 и 25 % соответственно. Наши наблюдения показали, что сильное отмирание листьев на вариантах с повышенным и высоким агрофоном произошло к моменту восковой спелости овса. Однако мы не приводим эти данные, поскольку у Отрады и Талисмана к этому времени листьев, способных к фотосинтезу (зеленых), уже не было.

Биомасса растений и характер ее накопления являются одними из важнейших показателей, характеризующих их генетические особенности и отклик на внешние факторы (таблица 4). В период кущения овса посевного биомасса овса не имела существенных различий по агрофону и сортам – она варьировала в целом по опыту от 3,3 до 4,5 ц/га сухого вещества.

К фазе выхода в трубку надземная масса овса в целом увеличилась в 3–5 раз по сравнению с кущением. Уже к этой фазе стали проявляться сортовые особенности и реакция на изменение уровня минерального питания. Биомасса сорта Отрада на контроле в среднем за годы исследований была равна 11,7 ± 1,8 ц/га при коэффициенте вариации 16 %. Внесение удобрений в дозе N₄₀P₁₀ кг/га стимулировало ростовые процессы – биомасса составила 12,6 ± 2,6 ц/га при увеличении степени изменчивости до 20 %, что соответствует средней степени вариабельности. Дальнейшее повышение уровня минерального питания обеспечило прибавку биомассы на 50 % относительно естественного агрофона. На вариантах с дозами удобрений N₆₀P₄₀ и N₈₀P₆₀ кг/га вариабельность биомассы сорта Отрада в фазу выхода в трубку увеличилась до 22 %, что соответствовало значительной степени изменчивости.

Таблица 3

Результаты трехфакторного дисперсионного анализа ассимиляционной поверхности сортов овса посевного в фазу выметывания при различном уровне минерального питания

Источник вариации	Дисперсия	$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{теор.}}$	Показатель силы влияния, %
Сорт (A)	4820	930	3,0	25
Уровень питания (B)	3871	747	2,6	30
Погодные условия (C)	7185	1386	3,0	37
Взаимодействие AB	85	16	2,1	1
Взаимодействие AC	138,6	27	2,4	1
Взаимодействие BC	107,1	21	2,1	2
Взаимодействие ABC	58,5	11	1,8	2

Table 3

Results of three-factor dispersion analysis of the assimilation surface of oat varieties in the ear formation phase at different levels of mineral nutrition

The source of variation	Variance	$F_{\text{fact.}}$	$F_{\text{theor.}}$	Indicator of the power of influence, %
Grade (A)	4820	930	3.0	25
The level of nutrition (B)	3871	747	2.6	30
Weather conditions (C)	7185	1386	3.0	37
Interaction AB	85	16	2.1	1
Interaction AC	138.6	27	2.4	1
Interaction BC	107.1	21	2.1	2
Interaction ABC	58.5	11	1.8	2

Динамика накопления биомассы овса посевного в течение вегетации, ц/га сухого вещества (без учета зерновой массы), 2018–2020 гг.

Сорт	Уровень агрофона*	Фазы развития овса посевного							
		Кущение		Выход в трубку		Выметывание		Молочная спелость	
		\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %
Отрада	1	3,9 ± 0,5	13	11,7 ± 1,8	16	23,2 ± 5,8	25	30,2 ± 7,3	24
	2	3,1 ± 0,3	11	12,6 ± 2,6	20	25,1 ± 7,5	30	37,3 ± 11,4	30
	3	3,6 ± 0,5	13	15,5 ± 3,2	21	28,0 ± 8,5	30	45,7 ± 16,9	37
	4	3,7 ± 0,5	14	17,5 ± 3,9	22	37,6 ± 12,3	33	59,4 ± 26,5	45
Талисман	1	4,2 ± 0,6	14	12,3 ± 2,2	18	18,3 ± 3,6	20	32,3 ± 6,0	19
	2	3,3 ± 0,4	13	12,7 ± 1,8	14	22,0 ± 5,9	27	31,8 ± 7,9	25
	3	3,6 ± 0,5	13	14,8 ± 2,0	14	26,2 ± 3,3	12	40,0 ± 11,6	29
	4	4,0 ± 0,5	13	18,0 ± 3,4	19	30,4 ± 8,0	26	49,0 ± 14,1	29
Фома	1	4,5 ± 0,4	9	12,7 ± 2,2	18	26,5 ± 4,2	16	37,7 ± 8,3	22
	2	3,5 ± 0,2	7	13,2 ± 1,8	13	29,1 ± 4,7	16	50,2 ± 16,4	33
	3	4,2 ± 0,5	13	17,4 ± 3,5	20	39,7 ± 9,4	24	81,6 ± 28,2	35
	4	4,0 ± 0,7	17	19,4 ± 0,9	5	40,2 ± 5,9	15	95,7 ± 36	38

* 1 – естественный (без удобрений); 2 – средний ($N_{40}P_{10}$); 3 – повышенный ($N_{60}P_{40}$); 4 – высокий ($N_{80}P_{60}$).

Table 4
Dynamics of oat biomass accumulation during the growing season, c/ha of dry matter (excluding grain weight), 2018–2020

Variety	Agrophone level*	Phases of development of oats							
		Tillering		Stem elongation		Ear formation		Milky ripeness	
		\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %
Otrada	1	3.9 ± 0.5	13	11.7 ± 1.8	16	23.2 ± 5.8	25	30.2 ± 7.3	24
	2	3.1 ± 0.3	11	12.6 ± 2.6	20	25.1 ± 7.5	30	37.3 ± 11.4	30
	3	3.6 ± 0.5	13	15.5 ± 3.2	21	28.0 ± 8.5	30	45.7 ± 16.9	37
	4	3.7 ± 0.5	14	17.5 ± 3.9	22	37.6 ± 12.3	33	59.4 ± 26.5	45
Talisman	1	4.2 ± 0.6	14	12.3 ± 2.2	18	18.3 ± 3.6	20	32.3 ± 6.0	19
	2	3.3 ± 0.4	13	12.7 ± 1.8	14	22.0 ± 5.9	27	31.8 ± 7.9	25
	3	3.6 ± 0.5	13	14.8 ± 2.0	14	26.2 ± 3.3	12	40.0 ± 11.6	29
	4	4.0 ± 0.5	13	18.0 ± 3.4	19	30.4 ± 8.0	26	49.0 ± 14.1	29
Foma	1	4.5 ± 0.4	9	12.7 ± 2.2	18	26.5 ± 4.2	16	37.7 ± 8.3	22
	2	3.5 ± 0.2	7	13.2 ± 1.8	13	29.1 ± 4.7	16	50.2 ± 16.4	33
	3	4.2 ± 0.5	13	17.4 ± 3.5	20	39.7 ± 9.4	24	81.6 ± 28.2	35
	4	4.0 ± 0.7	17	19.4 ± 0.9	5	40.2 ± 5.9	15	95.7 ± 36	38

* 1 – natural (without fertilizers); 2 – medium ($N_{40}P_{10}$); 3 – elevated ($N_{60}P_{40}$); 4 – high ($N_{80}P_{60}$).

Биомасса сорта Талисман на контроле и при внесении удобрений в дозах $N_{40}P_{10}$ $N_{60}P_{40}$ была сопоставима с Отрадой. На максимальном агрофоне его надземная масса достигла $18,0 \pm 3,4$ ц/га при среднем уровне вариабельности. Данный факт указывает на меньшее проявление внутрисортовой конкуренции при высокой насыщенности удобрениями. Сорт Фома в фазу выхода в трубку не имел существенных отличий от Талисмана.

Межфазный период «выход в трубку – выметывание» характеризуется тем, что на фоне развития метелки начинают отмирать нижние листья овса. Минимальная биомасса в фазу выметывания на естественном агрофоне была у сорта Талисман $18,3 \pm 3,6$ ц/га, чуть выше – у сорта Отрада ($23,2 \pm 5,8$ ц/га).

Сорт Фома выделялся не только максимальной надземной массой, но и минимальным проявлением конкурентной борьбы внутри посева – коэффициент варьирования составил 16 %. Внесение удобрений в дозе $N_{40}P_{10}$ кг/га, что соответствует среднему уровню агрофона, выразилось в прибавке сухого вещества на 8, 20 и 10 % относительно контроля. Максимальная отзывчивость была у сорта Талисман. Средний агрофон усилил конкуренцию за надземное пространство у сортов Отрада и Талисман – вариабельность биомассы составила 30 и 27 % соответственно. У сорта Фома конкурентная борьба в фазу выметывания проявлялась не столь выражено – коэффициент вариации оставался на прежнем уровне. На вариантах с повышенным и высоким агрофоном биомасса этого сорта

оказалась максимальной – $40,2 \pm 5,9$ ц/га. Высокая степень проявления конкуренции между растениями, выражаемая коэффициентом вариации биомассы, оказалась только на повышенном агрофоне. При внесении удобрений в дозе $N_{80}P_{60}$ кг/га масса надземной части овса в фазу выметывания оставалась неизменной при существенном снижении коэффициента вариации с 24 до 15 %.

В фазу молочной спелости биомасса овса, как и у остальных зерновых культур, достигает максимальных значений главным образом за счет формирующего урожая. Роста вегетативной массы в период созревания уже не отмечается, а листовой аппарат постепенно отмирает [19, с. 34]. Фотосинтез продолжал осуществляться за счет жизнеспособного флагового листа. В период созревания становится очевидным эффект сортовой отзывчивости овса на минеральные удобрения. Биомасса сорта Отрада на естественном агрофоне составила $30,2 \pm 7,3$ ц/га. Талисман не отличался от Отрады, но было отмечено, что на том же агрофоне Фома формировал $37,7 \pm 8,3$ ц/га, что достоверно выше. Внесение возрастающих доз удобрений постепенно увеличивало биомассу, которая на высоком агрофоне достигла максимальных значений: у Отрады – $59,4 \pm 26,5$; у Талисмана – $49,0 \pm 14,1$; Фомы – $95,7 \pm 36$ ц/га. Необходимо отметить увеличение стандартного отклонения и, соответственно, коэффициента вариации с повышением уровня минерального питания, что указывает на высокую внутрисортовую конкуренцию между растениями овса. Данный факт является обоснованием неэффективности применяемого в современной земледелии рядового посева с междурядьем 15 см на высоком агро-

фоне. По нашему мнению, при внесении удобрений на планируемую урожайность свыше 4,0 т/га зерна овса рекомендуется перекрестный (или разбросной) способ посева, эффективность которого доказана В. Г. Колесниковой [20, с. 121].

Дисперсионный анализ показал, что наиболее существенным фактором, влияющим на биомассу овса в фазу выметывания, являются погодные условия вегетации – показатель силы влияния составляет 39 % при $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ (таблица 5). В меньшей степени влияние на биомассу оказывают минеральные удобрения, на долю которых приходится 26 %. На долю сорта приходится 17 % показателя силы влияния. Расчетные данные взаимодействия источников вариации минимальны, но математически достоверны ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$).

Фотосинтетический потенциал (ФП) определяет продолжительность эффективной работы листового аппарата растений. Данный показатель имеет широкий спектр применения, начиная от планирования посевных работ и заканчивая системой удобрений. ФП зависит от генетических особенностей культуры или сорта, а также от внешних факторов, таких как погодные условия вегетации или уровень минерального питания.

Наши расчеты показали, что продолжительность эффективной работы листового аппарата изучаемых сортов овса неодинакова по фазам его развития. В период кущения – выхода в трубку фотосинтетический потенциал Отрады не зависел от уровня минерального питания (1,5–1,6 тыс. м²/га в сутки). Сорт Талисман характеризовался уменьшением ФП с 1,5 до 1,3 тыс. м²/га в сутки при повышении доз минераль-

Таблица 5
Результаты трехфакторного дисперсионного анализа биомассы сортов овса посевного в фазу выметывания при различном уровне минерального питания

Источник вариации	Дисперсия	$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{теор.}}$	Показатель силы влияния, %
Сорт (А)	2252,6	619,3	3,0	17
Уровень питания (В)	2587,7	711,5	2,6	29
Погодные условия (С)	5203,8	1430,8	3,0	39
Взаимодействие АВ	125,9	34,6	2,1	3
Взаимодействие АС	150,8	41,5	2,4	2
Взаимодействие ВС	127,9	35,2	2,1	3
Взаимодействие АВС	89,5	24,6	1,8	4

Table 5
Results of three-factor dispersion analysis of biomass of oat varieties in the sweeping phase at different levels of mineral nutrition

The source of variation	Variance	$F_{\text{fact.}}$	$F_{\text{theor.}}$	Indicator of the power of influence, %
Grade (A)	2252.6	619.3	3.0	17
The level of nutrition (B)	2587.7	711.5	2.6	29
Weather conditions (C)	5203.8	1430.8	3.0	39
Interaction AB	125.9	34.6	2.1	3
Interaction AC	150.8	41.5	2.4	2
Interaction BC	127.9	35.2	2.1	3
Interaction ABC	89.5	24.6	1.8	4

ных удобрений (таблица 6). Наиболее отзывчивым оказался сорт Фома, фотосинтетическая производительность которого составила 1,4–1,7 тыс. м²/га в сутки с максимумом на высоком агрофоне.

Межфазный период «выход в трубку – выметывание» у овса относительно короткий. В это время появляются листья верхних ярусов, которые совместно с флажковым листом отвечают за формирование урожая. Расчеты показали, что изучаемые сорта ведут себя неодинаково на разных уровнях агрофона. Сорт Отрада на варианте с дозой внесения N₆₀P₄₀ кг/га имел максимальный фотосинтетический потенциал – 3,0 тыс. м², тогда как на этом же фоне у Талисмана значение ФП составило 1,1 тыс. м²/га в сутки. Необходимо отметить и сорт Фома, ФП которого был высоким на естественном агрофоне – 2,7 тыс. м²/га в сутки. С повышением уровня агрофона фотосинтетический потенциал постепенно снижался.

Период между выметыванием и молочной спелостью является наиболее продолжительным относительно предыдущих. Необходимо, чтобы в это время листовой аппарат оставался как можно дольше жизнеспособным, поскольку от него зависят налив зерна и продуктивность овса в целом.

Наши расчеты показали, что сорт Отрада характеризовался увеличением фотосинтетического потенциала относительно предыдущего межфазного периода. Максимальный ФП был отмечен на вариантах с повышенным и высоким агрофоном (2,8 тыс. м²/га в сутки). Несмотря на повышение данного показателя у Талисмана, достичь значений Отрады не удалось – фотосинтетический потенциал этого сорта не зависел от минеральных удобрений (2,4–2,5 тыс. м²/га в сутки). Это делает сорт Талисман наименее эффективным для полей с высоким агрофоном.

Таблица 6
Фотосинтетический потенциал сортов овса при внесении минеральных удобрений, тыс. м²/га в сутки (2018–2020 гг.)

Сорт	Уровень агрофона*	Межфазные периоды развития овса посевного		
		Кущение – выход в трубку	Выход в трубку – выметывание	Выметывание – молочная спелость
Отрада	1	1,6	1,7	2,5
	2	1,6	1,6	2,4
	3	1,6	3,0	2,8
	4	1,5	2,1	2,8
Талисман	1	1,5	2,5	2,5
	2	1,5	1,2	2,4
	3	1,4	1,1	2,5
	4	1,3	1,3	2,5
Фома	1	1,5	2,7	3,4
	2	1,4	1,4	2,9
	3	1,6	1,9	3,5
	4	1,7	1,0	3,1

* 1 – естественный (без удобрений); 2 – средний (N₄₀P₁₀); 3 – повышенный (N₆₀P₄₀); 4 – высокий (N₈₀P₆₀).

Table 6
Photosynthetic potential of oat varieties when applying mineral fertilizers, thousand m²/ha per day (2018–2020)

Variety	Agrophone level*	Interphase periods of development of oats		
		Tillering – Stem elongation	Stem elongation – Ear formation	Ear formation – Milky ripeness
Otrada	1	1.6	1.7	2.5
	2	1.6	1.6	2.4
	3	1.6	3.0	2.8
	4	1.5	2.1	2.8
Talisman	1	1.5	2.5	2.5
	2	1.5	1.2	2.4
	3	1.4	1.1	2.5
	4	1.3	1.3	2.5
Foma	1	1.5	2.7	3.4
	2	1.4	1.4	2.9
	3	1.6	1.9	3.5
	4	1.7	1.0	3.1

* 1 – natural (without fertilizers); 2 – medium (N₄₀P₁₀); 3 – elevated (N₆₀P₄₀); 4 – high (N₈₀P₆₀).

Таблица 7

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) овса посевного Тюменской селекции в зависимости от уровня минерального питания, г/м² в сутки (2018–2020 гг.)

Сорт	Уровень агрофона*	Межфазный период					
		Кушение – выход в трубку		Выход в трубку – выметывание		Выметывание – молочная спелость	
		\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %
Отрада	1	6,1 ± 0,9	15	4,3 ± 0,5	13	5,0 ± 1,3	39
	2	7,0 ± 0,9	12	4,4 ± 0,8	18	7,5 ± 3,2	43
	3	6,1 ± 0,5	8	3,3 ± 0,4	13	6,9 ± 3,0	44
	4	5,1 ± 0,5	10	3,7 ± 0,6	15	6,0 ± 3,3	56
Талисман	1	6,2 ± 0,9	14	2,9 ± 1,5	51	10,1 ± 5,2	52
	2	7,5 ± 1,5	20	3,8 ± 1,6	41	6,6 ± 3,0	46
	3	6,1 ± 0,5	8	3,9 ± 1,5	38	5,4 ± 2,8	51
	4	5,5 ± 0,9	16	2,6 ± 1,3	49	6,4 ± 3,7	58
Фома	1	4,1 ± 0,6	14	4,9 ± 1,5	30	5,1 ± 2,3	44
	2	4,7 ± 0,3	7	4,6 ± 1,6	34	8,2 ± 3,4	42
	3	4,6 ± 0,9	19	4,2 ± 0,6	14	9,1 ± 2,9	32
	4	4,8 ± 1,5	31	3,1 ± 0,4	13	11,2 ± 3,1	27

* 1 – естественный (без удобрений); 2 – средний (N₄₀P₁₀); 3 – повышенный (N₆₀P₄₀); 4 – высокий (N₈₀P₆₀).

Table 7

Net photosynthesis productivity of Tyumen-bred oats depending on the level of mineral nutrition, g/m² per day (2018–2020)

Variety	Agraphone level*	Interphase periods of development of oats					
		Tillering – Stem elongation		Stem elongation – Ear formation		Ear formation – Milky ripeness	
		\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %	\bar{x}	Cv, %
Otrada	1	6.1 ± 0.9	15	4.3 ± 0.5	13	5.0 ± 1.3	39
	2	7.0 ± 0.9	12	4.4 ± 0.8	18	7.5 ± 3.2	43
	3	6.1 ± 0.5	8	3.3 ± 0.4	13	6.9 ± 3.0	44
	4	5.1 ± 0.5	10	3.7 ± 0.6	15	6.0 ± 3.3	56
Talisman	1	6.2 ± 0.9	14	2.9 ± 1.5	51	10.1 ± 5.2	52
	2	7.5 ± 1.5	20	3.8 ± 1.6	41	6.6 ± 3.0	46
	3	6.1 ± 0.5	8	3.9 ± 1.5	38	5.4 ± 2.8	51
	4	5.5 ± 0.9	16	2.6 ± 1.3	49	6.4 ± 3.7	58
Foma	1	4.1 ± 0.6	14	4.9 ± 1.5	30	5.1 ± 2.3	44
	2	4.7 ± 0.3	7	4.6 ± 1.6	34	8.2 ± 3.4	42
	3	4.6 ± 0.9	19	4.2 ± 0.6	14	9.1 ± 2.9	32
	4	4.8 ± 1.5	31	3.1 ± 0.4	13	11.2 ± 3.1	27

* 1 – natural (without fertilizers); 2 – medium (N₄₀P₁₀); 3 – elevated (N₆₀P₄₀); 4 – high (N₈₀P₆₀).

Фома характеризовался максимальным фотосинтетическим потенциалом на варианте с отсутствием удобрений (3,4 тыс. м²/га в сутки). Внесение удобрений в дозе N₄₀P₁₀ привело к уменьшению эффективности работы листового аппарата Фомы. Это обусловлено тем, что на таком агрофоне в первой половине вегетации складываются оптимальные условия минерального питания, но во второй половине у зерновых культур возникает определенный дефицит питательных веществ, что негативно влияет на развитие листового аппарата [21, с. 154], [22, с. 14]. Этот эффект исчезает на более высоком агрофоне, который создается внесением N₆₀P₄₀ кг/га – фотосинтетический потенциал достигает первоначальных значений (3,5 тыс. м²/га в сутки).

На основании анализа таблицы 6 установлено, что сорт Талисман является наименее отзывчивым на уровень минерального питания и уступает Отраде и Фоме, которые могут быть отнесены к сортам интенсивного типа, способным на высоком агрофоне раскрыть свой генетический потенциал. Для проверки нашей гипотезы необходимо проанализировать чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), которая показывает скорость накопления биомассы за единицу времени.

Чистая продуктивность фотосинтеза Отрады в период кушения – выхода в трубку на контроле составила 6,1 ± 0,9 г/м² в сутки (таблица 7). Внесение минеральных удобрений в дозе N₄₀P₁₀ кг/га повысило эффективность фотосинтеза до 7,0 ± 0,9 г/м², но

Результаты трехфакторного дисперсионного анализа чистой продуктивности фотосинтеза сортов овса посевного в период «кущение – молочная спелость» при различном уровне минерального питания

Источник вариации	Дисперсия	$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{теор.}}$	Показатель силы влияния, %
Сорт (А)	14,9	10,3	3,0	4
Уровень питания (В)	22,8	15,7	2,6	8
Погодные условия (С)	119,5	82,5	3,0	29
Взаимодействие АВ	6,3	4,3	2,1	5
Взаимодействие АС	2,8	1,9	2,4	1
Взаимодействие ВС	3,2	2,2	2,1	2
Взаимодействие АВС	3,9	2,7	1,8	6

Table 8

The results of a three-factor dispersion analysis of the net photosynthesis productivity of oat varieties in the period of «Tillering – Milk ripeness» at different levels of mineral nutrition

The source of variation	Variance	$F_{\text{fact.}}$	$F_{\text{theor.}}$	Indicator of the power of influence, %
Grade (A)	14.9	10.3	3.0	4
The level of nutrition (B)	22.8	15.7	2.6	8
Weather conditions (C)	119.5	82.5	3.0	29
Interaction AB	6.3	4.3	2.1	5
Interaction AC	2.8	1.9	2.4	1
Interaction BC	3.2	2.2	2.1	2
Interaction ABC	3.9	2.7	1.8	6

уже при дальнейшем повышении уровня минерального питания она начала снижаться, достигая 5,1 г/м² в сутки на высоком агрофоне. Аналогично проявлял себя и сорт Талисман. Фома выделялся среди изучаемых сортов тем, что его значение ЧПФ было минимальным на всех вариантах – 4,1–4,8 г/м² в сутки.

В межфазный период «выход в трубку – выметывание» эффективность фотосинтеза изучаемых сортов овса изменилась. Сорт Талисман начал отставать от Отрады на всех уровнях агрофона, за исключением варианта с внесением удобрений в дозе N₆₀P₄₀ кг/га. У сорта Фома значение ЧПФ на контроле составило 4,9 ± 1,5 г/м² в сутки, что было максимальным по всему опыту. С повышением уровня питания эффективность фотосинтеза начала постепенно снижаться, достигая 3,1 ± 0,4 г/м². Аналогичная тенденция была отмечена у Отрады, только с меньшим значением ЧПФ.

Дисперсионный анализ показал, что чистая продуктивность фотосинтеза овса в период «выход в трубку – выметывание» преимущественно зависит от сортовых особенностей (10 %); уровня минерального питания (12 %) и погодных условий вегетационного периода (6 %). Также выявлена роль совокупного взаимодействия этих факторов – 21%.

В третьем изучаемом межфазном периоде, который существенно больше, чем предыдущие два, влияние минеральных удобрений на сортовую эффективность фотосинтеза сортов овса Тюменской селекции стало очевидным. Наиболее стабильным в отношении агрофона был сорт Отрада, у которого чистая продуктивность фотосинтеза варьировала по вариантам от 5,0 до 7,5 г/м² в сутки с максимальным

значением на среднем агрофоне. У сортов Талисман и Фома реакция на удобрения в этот период была диаметрально противоположной. Максимальная эффективность фотосинтеза у Талисмана была на контроле (10,1 ± 5,2), тогда как у Фомы – на варианте с внесением удобрений в дозе N₈₀P₆₀ кг/га.

Чистая продуктивность фотосинтеза овса на разных уровнях агрофона изменялась в широком диапазоне – коэффициент вариации был в диапазоне от 7 % (Фома на естественном агрофоне) до 20 % (Талисман на среднем агрофоне). В период «выметывание – молочная спелость» С_v достиг максимальных значений 27–58 %, что соответствовало значительной вариативности. Наибольшей степенью изменчивости на вариантах с различным агрофоном выделялся сорт Талисман, что указывает на очень сильное проявление конкурентной борьбы между растениями, особенно на высоком агрофоне. По нашему мнению, при внесении удобрений на планируемую урожайность 4,0 и 5,0 т/га сорт Талисман рекомендуется высевать перекрестным или разбросным способом, что даст возможность уменьшить конкуренцию между растениями овса и тем самым раскрыть генетический потенциал сорта.

Вариативность ЧПФ Отрады возрастает с повышением уровня минерального питания с 39 до 56 %, тогда как у сорта Фома прослеживается обратная ситуация: на высоком агрофоне коэффициент вариации был минимальным (27 %). Данный факт указывает на то, что внесение удобрений позволяет уменьшить конкурентную борьбу между растениями овса сорта Фома и тем самым максимально раскрыть его гене-

тический потенциал. При выращивании Отрады на высоком агрофоне рекомендуется отказаться от рядового посева, при котором возникает очень сильная конкуренция между растениями в рядах: коэффициент вариации чистой продуктивности фотосинтеза достигает 56 %.

Расчет чистой продуктивности фотосинтеза в период кущение-молочная спелость дает возможность в целом оценить отзывчивость сортов овса на минеральный уровень питания. Как видно из рис. 1, все сорта в целом проявляют максимальную «производительность» фотосинтеза при внесении удобрений в дозе $N_{40}P_{10}$ кг/га, что соответствует планируемой урожайности 3,0 т/га зерна. Отзыв на остальные уровни агрофона индивидуален и является сортовой особенностью. Так, сорт Талисман на высоком агрофоне существенно снижает ЧПФ до 6,8 г/м² в сутки, тогда как у Отрады и Фомы этот показатель уменьшается до 7,8 г/м² в сутки.

Дисперсионный анализ чистой продуктивности фотосинтеза показал минимальное влияние сорта на

продуктивность фотосинтеза – сила влияния составила 4 % при $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ (таблица 8). Данный факт объясняется тем, что изучаемые сорта относятся к одному генетическому поколению, а Отрада и Фома являются генетически близкими сортами, созданными из одной гибридной популяции [23, с. 93].

Роль минеральных удобрений несколько выше – 8 %. Максимальное влияние на продуктивность фотосинтеза оказывают погодные условия вегетационного периода – 29 %. Взаимодействие сорта и погодных условий (АС) математически не доказано ($F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$).

Совокупность внешних факторов и генетического потенциала растений выражается в урожайности товарной продукции. Установить степень влияния каждого фактора крайне сложно по причине прямого и косвенного их действия.

Трехлетние исследования показали, что сорта Отрада и Талисман достоверно отстают по продуктивности на естественном агрофоне от Фомы. Его урожайность составляет $20,9 \pm 2,9$ ц/га с максимумом 26,1 ц/га (таблица 9). У сортов Талисман и Отрада максимум был равен 24,3 и 22,5 ц/га соответственно.

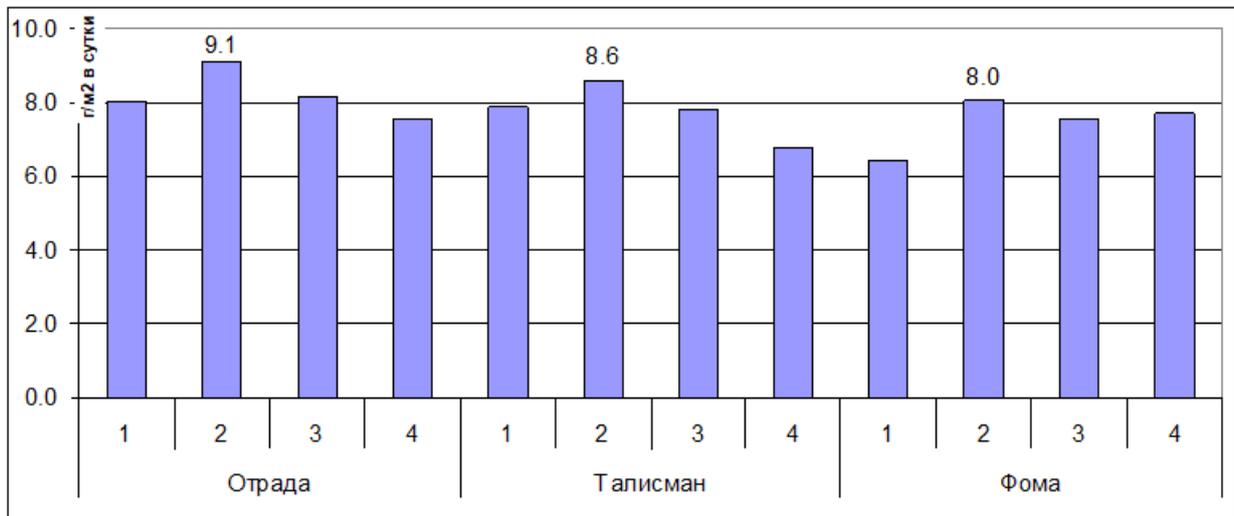


Рис. 1 Чистая продуктивность фотосинтеза в межфазный период кущение-молочная спелость овса посевного Тюменской селекции на различных агрофонах, г/м² в сутки, 2018–2020 гг.: 1 – естественный (без удобрений); 2 – средний ($N_{40}P_{10}$); 3 – повышенный ($N_{60}P_{40}$); 4 – высокий ($N_{80}P_{60}$)

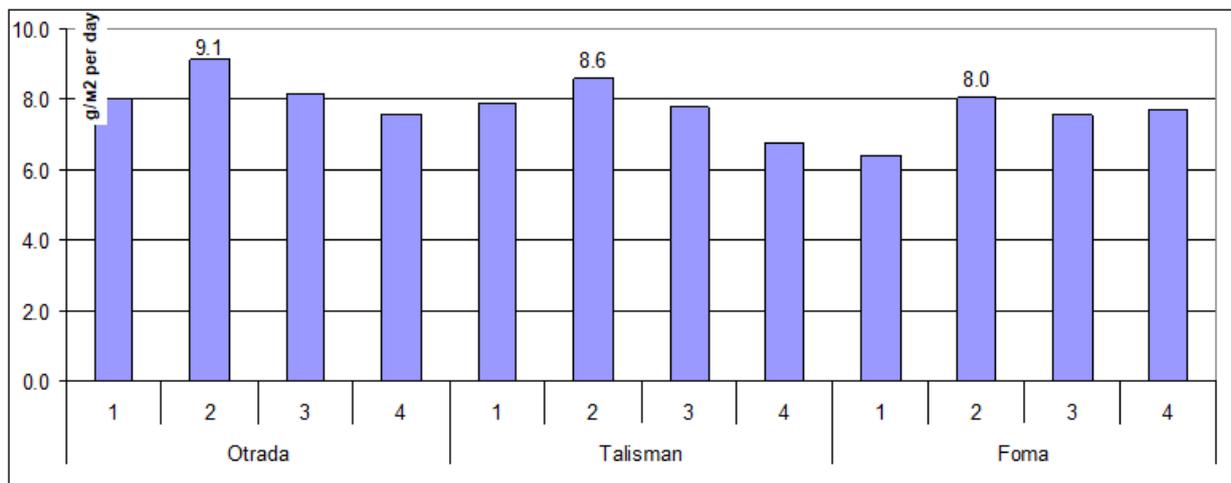


Fig. 1 Net photosynthesis productivity in the interphase period tillering-milk ripeness of oats sown by Tyumen selection on various agrophones, g/m² per day, 2018–2020: 1 – natural (without fertilizers); 2 – medium ($N_{40}P_{10}$); 3 – elevated ($N_{60}P_{40}$); 4 – high ($N_{80}P_{60}$)

Урожайность овса посевного при различном уровне минерального питания, ц/га (2018–2020 гг.)

Сорт	Уровень агрофона*	Урожайность	Min	Max	Max – Min	Cv, %
		ц/га				
Отрада	1	16,9 ± 1,9	13,0	22,5	9,5	11
	2	28,5 ± 3,2	20,7	34,0	13,3	11
	3	39,4 ± 2,3	35,8	44,0	8,2	6
	4	45,7 ± 5,3	38,2	53,5	15,3	12
Талисман	1	17,5 ± 3,5	10,8	24,3	13,5	20
	2	28,5 ± 3,0	22,6	34,6	12,0	11
	3	35,9 ± 2,9	29,3	41,5	12,2	8
	4	43,7 ± 6,2	31,7	56,2	24,5	14
Фома	1	20,9 ± 2,9	15,1	26,1	10,9	14
	2	34,8 ± 2,5	29,0	38,9	9,9	7
	3	42,4 ± 4,1	34,4	49,6	15,2	10
	4	49,8 ± 3,3	44,0	56,7	12,7	7

* 1 – естественный (без удобрений); 2 – средний ($N_{40}P_{10}$); 3 – повышенный ($N_{60}P_{40}$); 4 – высокий ($N_{80}P_{60}$).

Table 9

Crop yield of oats at different levels of mineral nutrition, c/ha (2018–2020)

Variety	Agrophone level*	Yield	Min	Max	Max – Min	Cv, %
		c/ha				
Otrada	1	16.9 ± 1.9	13.0	22.5	9.5	11
	2	28.5 ± 3.2	20.7	34.0	13.3	11
	3	39.4 ± 2.3	35.8	44.0	8.2	6
	4	45.7 ± 5.3	38.2	53.5	15.3	12
Talisman	1	17.5 ± 3.5	10.8	24.3	13.5	20
	2	28.5 ± 3.0	22.6	34.6	12.0	11
	3	35.9 ± 2.9	29.3	41.5	12.2	8
	4	43.7 ± 6.2	31.7	56.2	24.5	14
Foma	1	20.9 ± 2.9	15.1	26.1	10.9	14
	2	34.8 ± 2.5	29.0	38.9	9.9	7
	3	42.4 ± 4.1	34.4	49.6	15.2	10
	4	49.8 ± 3.3	44.0	56.7	12.7	7

* 1 – natural (without fertilizers); 2 – medium ($N_{40}P_{10}$); 3 – elevated ($N_{60}P_{40}$); 4 – high ($N_{80}P_{60}$).

Создание среднего уровня агрофона путем внесения дозы $N_{40}P_{10}$ обеспечило получение урожайности изучаемых сортов на уровне 30 ц/га с варьированием от 20,7 до 34,0 ц/га у сорта Отрада; 22,6–34,6 ц/га у Талисмана. Коэффициент варьирования у Талисмана составил 20 %, что соответствовало сильной вариативности. Для современных сортов это принято считать неблагоприятным фактором, который генетически заложен в сорте. Средняя урожайность Фомы при внесении $N_{40}P_{10}$ кг/га была выше планируемой на 16 %. Максимальный сбор составил 38,9 ц/га, что указывает на необходимость разработки сортовой системы удобрений. В неблагоприятный год, когда остальные сорта достоверно снижали продуктивность, урожай Фомы был равен 29,0 ц/га. На среднем агрофоне Фома отличался максимальной стабильностью – коэффициент вариации составил 7 %.

Повышенный агрофон ($N_{60}P_{40}$) обеспечил получение средней урожайности всех изучаемых сортов овса на уровне 35,9–42,4 ц/га. В отдельные годы сбор

зерна сорта Фома 49,6 ц/га, что на 24 % выше планируемой урожайности. На варианте с максимальным уровнем минерального питания ($N_{80}P_{60}$ кг/га) Талисман достоверно уступил по урожайности Фоме – разница между ними составила 6,1 ц/га. Анализ по годам показал, что размах значений (Max – Min) у сорта Талисман был максимальным среди изучаемых сортов (24,5 ц/га), у Фомы этот показатель был в 2 раза меньше.

Анализ корреляционных связей между продуктивностью и морфометрическими параметрами изучаемых сортов овса показал, что урожайность находится в прямой зависимости от площади листовой поверхности в фазу выхода в трубку и выметывания. Коэффициент корреляции составляет 0,67 и 0,72 соответственно. Умеренная связь урожайности отмечается и с биомассой овса в фазу выхода в трубку и выметывания – коэффициент корреляции 0,70 и 0,72 соответственно. Наиболее интересным оказалось то, что взаимосвязь между сбором зерна и чистой продук-

тивностью фотосинтеза овса отсутствовала. Коэффициент корреляции был отрицательным и варьировал по фенологическим фазам от 0,11 до 0,28. Данный факт указывает на то, что изучаемые сорта формируют свой урожай преимущественно за счет увеличения облиственности, а не благодаря эффективной работе фотосинтетического аппарата. Это может быть обосновано высокой вариабельностью урожайности по годам, поскольку площадь листьев и их биомасса зависит от множества факторов (погодные условия, уровень питания, болезни и вредители) [24, с. 136], [25, с. 190]. Также увеличение облиственности приводит к усилению конкурентной борьбы между растениями за надземное пространство, что негативно сказывается на продуктивности овса.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Изучаемые сорта овса характеризуются различной скоростью формирования ассимиляционной поверхности при равных внешних условиях: сорт Фома к фазе выметывания имеет 36,0 тыс. м²/га листовой поверхности, тогда как Отрада и Талисман – 28,1 и 24,0 тыс. м²/га соответственно. Под действием минеральных удобрений площадь листьев в межфазный период выход в трубку-выметывание увеличивается на 44–60 %, усиливая конкурентную борьбу в надземной части агрофитоценоза. Площадь ассимиляционной поверхности овса посевного зависит от сорта на 25 %, минеральных удобрений на – 30 % и погодных условий на – 37 %.

Чистая продуктивность фотосинтеза в период «кущение – молочная спелость» в минимальной степени зависит от сорта (4 %), что обусловлено близким генетическим родством изучаемых сортов овса Тюменской селекции. Максимальную силу влияния оказывают погодные условия – 29 %.

Фотосинтетический потенциал изучаемых сортов овса посевного в условиях Северного Зауралья в максимальной степени проявляется только при внесении удобрений в дозе N₄₀P₁₀ кг/га. Высокий агрофон негативно влияет на фотосинтетический потенциал сорта Талисман; чуть в меньшей степени – Отрады. Фома характеризуется стабильностью фотосинтеза на различных уровнях минерального питания, что соответствует сортам интенсивного типа возделывания. В ходе многолетних опытов установлено, что Тюменская селекция овса преимущественно направлена на повышение чистой продуктивности фотосинтеза за счет облиственности, что эффективно в условиях средних широт возделывания, но при повышении уровня агрофона приводит к усилению конкуренции в посевах овса. Это приводит к преждевременному отмиранию листьев нижних и средних ярусов. Рекомендуется для изучаемых сортов изменить схему посева, перейдя с рядового на перекрестный или ленточно-разбросной способ, где посев ведется под стрелчатую лапу с рассекателем потока внизу, что обеспечивает разброс по всей ширине захвата лапы. При дальнейшей селекции овса посевного рекомендуется проводить целенаправленную работу на повышение фотоэнергетического потенциала овса за счет повышения содержания хлоропластов на единицу площади листовой поверхности. Это позволит получать высокий, стабильный и качественный урожай, при снижении потребления воды и питательных веществ.

Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию № 121041600036-6.

Библиографический список

1. Belkina R. I., Moiseeva K. V., Polyakov M. V. Photosynthetic potential and productivity of spring wheat varieties of different ripeness groups in the northern forest-steppe of the Tyumen region // *Successes in modern science*. 2017. Vol. 2. No. 4. Pp. 153–156.
2. Jørgensen R. N., Hansen P. M., Bro R. Exploratory study of winter wheat reflectance during vegetative growth using three-mode component analysis // *International Journal of Remote Sensing*. 2006. Vol. 27. No. 5. Pp. 919–937. DOI: 10.1080/01431160500117683.
3. Sid'ko A. F., Pisman T. I., Botvich I. Yu., Shevyrnogov A. P. Estimation of Chlorophyll Content of Barley and Oats Crops Based on Reflectance Spectra Obtained by Ground-Based Remote Measurements // *Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies*. 2016. Vol. 9. No. 8. Pp. 1333–1339. DOI: 10.17516/1999-494X-2016-9-8-1333-1339.
4. Muslimov M. G., Taimazova N. S., Arnautova G. I., et al. Comparative characteristics of productivity elements among film and huskless forms of oat // *International Journal of Ecology and Development*. 2017. Vol. 32. No. 4. Pp. 130–137.
5. Евтушкова Е. П. Фотосинтетическая деятельность и урожайность зернофуражных культур в условиях Северного Зауралья // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2017. № 5 (67). С. 59–62.
6. Еремина Д. В., Демин Е. А. Агроэкономическое обоснование выращивания кукурузы на зерно в лесостепной зоне Зауралья // *Агропродовольственная политика России*. 2016. № 12 (60). С. 27–30.
7. Яковлев В. К., Першаков А. Ю., Белкина Р. И. Продуктивность и качество зерна пивоваренных сортов ячменя в Северном Зауралье // *Вестник КрасГАУ*. 2017. № 12 (135). С. 10–15.
8. Lyubimova A. V., Tobolova G. V., Eremin D. I., Loskutov I. G. Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020. Vol. 24. No. 2. Pp. 123–130. DOI: 10.18699/VJ20.607.

9. Ivanova Yu. S., Fomina M. N., Yaroslavtsev A. A. Ecological plasticity and stability of collection samples of naked oats in the conditions of the Northern TRANS-Urals // *Bioscience Research*. 2020. Vol. 17. No. 2. Pp. 1183–1185.
10. Власов А. Г., Халецкий С. П., Булавина Т. М. Формирование продуктивности посевов овса под влиянием различных сроков сева и норм высева семян // *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2021. № 57. С. 88–98.
11. Моисеева М. Н. Влияние удобрений на рост и развитие овса в лесостепной зоне Зауралья // *Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021. № 1 (16). С. 32–36.
12. Моисеева М. Н. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна овса в Северном Зауралье // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021. № 4 (90). С. 35–38.
13. Лапа В. В., Лопух М. С. Фотосинтетическая продуктивность растений голозерного овса в зависимости от доз минеральных удобрений // *Почвоведение и агрохимия*. 2009. № 2 (43). С. 166–174.
14. Моисеева К. В. Фотосинтетическая деятельность сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Северного Зауралья // *Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина*. 2017. № 4 (45). С. 189–191.
15. Прядун Ю. П., Любимова А. В., Тоболова Г. В., Еремин Д. И. Анализ генотипов селекционных линий овса посевного по аллелям авенин-кодирующих локусов // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 11 (164). С. 106–113. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-11-106-113.
16. Миллер С. С., Фисунов Н. В., Федоткин В. А., Рзаева В. В. Предпосевная, послепосевная, основная обработка почвы и посев сельскохозяйственных культур в Тюменской области. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2020. 140 с.
17. Гончар-Зайкин П. П., Чертов В. Г. Надстройка к EXCEL для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов // *Рациональное природопользование и сельскохозяйственное производство в южных регионах Российской Федерации: сборник материалов научно-практической конференции «Разработка адаптивных систем природоохранных технологий производства сельскохозяйственной продукции в аридных районах России»*. Москва, 2003. С. 559–565.
18. Магарамов Б. Г., Муслимов М. М., Куркиев К. У. Развитие листовой поверхности растений овса при различных способах обработки почвы // *Известия Дагестанского ГАУ*. 2019. № 4 (4). С. 88–91.
19. Наумова Н. А. Выявление фотосинтетического потенциала сортов ярового овса в Нижнем Поволжье // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 7. С. 31–34. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp31-34.
20. Колесникова В. Г. Приемы ухода за посевами, способы и сроки уборки овса сорта Улов в Предуралье: дис. ... канд. с.-х. наук. Ижевск, 2000. 149 с.
21. Еремин Д. И. Продуктивность зернового с занятым паром севооборота в условиях Северного Зауралья: дис. ... канд. с.-х. наук. Тюмень, 2002. 206 с.
22. Демина О. Н., Еремин Д. И. Влияние минеральных удобрений на нитратный режим и нитрификацию чернозема выщелоченного в Северном Зауралье // *Агрохимический вестник*. 2021. № 2. С. 10–14. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-2-002.
23. Любимова А. В., Еремин Д. И. Особенности компонентного состава авенинов овса, возделываемого в Западной Сибири // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018. Т. 179. № 2. С. 85–95. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-2-85-95.
24. Мыхлык А. И., Дуктова Н. А. Оценка фотосинтетической деятельности сортов овса посевного в зависимости от уровня азотного питания // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015. № 3. С. 130–137.
25. Shulepova O. V., Belkina R. I., Opanasyuk I. V. Barley yield analysis in the Russian federation // *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2020. Vol. 21. No. 71–72. Pp. 181–192.

Об авторах:

Анна Валерьевна Любимова¹, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией геномных исследований в растениеводстве, ORCID 0000-0002-1570-9595, AuthorID 819322; +7 952 341-08-87, ostapenkoav88@yandex.ru

Дмитрий Иванович Еремин¹, доктор биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, ORCID 0000-0002-3672-6060, AuthorID 318870; +7 912 927-13-86, soil-tyumen@yandex.ru

¹ Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Тюменского научно-исследовательского центра Сибирского отделения Российской академии наук, Тюмень, Россия

Varietal features of photosynthetic activity of Tyumen seed oats when applying mineral fertilizers

A. V. Lyubimova¹, D. I. Eremin¹✉

¹The Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – the branch of the Tyumen Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

✉E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Abstract. The purpose is to study the varietal characteristics of the photosynthetic efficiency of oats when applying fertilizers in Western Siberia. **Methods.** The research was carried out on an experimental field located in the northern forest-steppe of the Trans-Urals. Photosynthetic potential and net productivity of photosynthesis were determined by the Nichiporovich's method. **Results.** The nature of the formation of the assimilation surface and the accumulation of biomass of oat varieties Otrada, Talisman and Foma at different levels of mineral nutrition was studied. The photosynthetic potential and the net productivity of photosynthesis are calculated. The share of the influence of weather conditions, agrophone and variety on the studied indicators is determined. The Foma variety was characterized by maximum leafiness, compared to the Talisman and Otrada. On a natural agrophone, its assimilation surface in the sweeping phase reached 36.0 ± 5.5 thousand m², at Otrada and Talisman – 28.1 and 24.0 thousand m² per 1 ha of sowing. A very strong variability of the leaf surface area in Otrada was revealed ($C_v = 24\%$). The use of mineral fertilizers enhances the development of the leaf apparatus by 44–50 % and causes competition between oat plants. A close positive correlation was revealed between the leaf area in the sweeping phase and yield ($r = 0.72$). The area of the assimilation surface of oats is affected by: weather conditions – 37 %; nutrition level – 30 % and variety – 25 %. It was found that the Otrada and Foma varieties have the same accumulation dynamics and form the maximum photosynthetic biomass by the sweeping phase. The nature of biomass accumulation depends on weather conditions by 39 %; on mineral fertilizers by 29 % and on the genotype of the variety by 17 %. The productivity of the studied varieties is formed by increasing the assimilation surface, rather than increasing the efficiency of photosynthesis. Scientific novelty. For the first time, the photosynthetic potential was determined and the efficiency of the net photosynthesis productivity of oat varieties of the Tyumen selection was revealed. The share of the influence of various factors in the formation of the oat crop in the conditions of the Northern Trans-Urals has been established.

Keywords: biochemistry and physiology of oats; photosynthetic potential, responsiveness to mineral fertilizers, Foma, Otrada, pure productivity of photosynthesis; carbon dioxide absorption; genetic diversity.

For citation: Lyubimova A. V., Eremin D. I. Sortovye osobennosti fotosinteticheskoy aktivnosti ovsa posevnogo Tyumenskoy seleksii pri vnesenii mineral'nykh udobreniy [Varietal features of photosynthetic activity of oats sown in Tyumen selection when applying mineral fertilizers] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 12 (215). Pp. 59–76. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-59-76. (In Russian.)

Date of paper submission: 28.10.2021, **date of review:** 08.11.2021, **date of acceptance:** 12.11.2021.

References

1. Belkina R. I., Moiseeva K. V., Polyakov M. V. Photosynthetic potential and productivity of spring wheat varieties of different ripeness groups in the northern forest-steppe of the Tyumen region // Successes in modern science. 2017. Vol. 2. No. 4. Pp. 153–156.
2. Jørgensen R. N., Hansen P. M., Bro R. Exploratory study of winter wheat reflectance during vegetative growth using three-mode component analysis // International Journal of Remote Sensing. 2006. Vol. 27. No. 5. Pp. 919–937. DOI: 10.1080/01431160500117683.
3. Sid'ko A. F., Pisman T. I., Botvich I. Yu., Shevyrnogov A. P. Estimation of Chlorophyll Content of Barley and Oats Crops Based on Reflectance Spectra Obtained by Ground-Based Remote Measurements // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. 2016. Vol. 9. No. 8. Pp. 1333–1339. DOI: 10.17516/1999-494X-2016-9-8-1333-1339.
4. Muslimov M. G., Taimazova N. S., Arnautova G. I., et al. Comparative characteristics of productivity elements among film and huskless forms of oat // International Journal of Ecology and Development. 2017. Vol. 32. No. 4. Pp. 130–137.
5. Evtushkova E. P. Fotosinteticheskaya deyatelnost' i urozhaynost' zernofurazhnykh kul'tur v usloviyakh Severnogo Zaural'ya [Photosynthetic activity and yield of grain crops in the conditions of the Northern Trans-Urals] // IZVESTIYA Orenburg State Agrarian University. 2017. No. 5 (67). Pp. 59–62. (In Russian.)

6. Eremina D. V., Demin E.A. Agroekonomicheskoe obosnovanie vyrashchivaniya kukuruzy na zerno v lesostepnoy zone Zaural'ya [Agroeconomical justification of growing corn for grain in the forest-steppe zone of the Trans-Urals] // Agro-food policy in Russia 2016. No. 12 (60). Pp. 27–30. (In Russian.)
7. Yakovlev V. K., Pershakov A. Yu., Belkina R. I. Produktivnost' i kachestvo zerna pivovarennykh sortov yachmenya v Severnom Zaural'e [Productivity and grain quality of malting barley varieties in the Northern Trans-Urals] // Vestnik KrasGAU. 2017. No. 12 (135). Pp. 10–15. (In Russian.)
8. Lyubimova A. V., Tobolova G. V., Eremin D. I., Loskutov I. G. Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. Vol. 24. No. 2. Pp. 123–130. DOI: 10.18699/VJ20.607.
9. Ivanova Yu. S., Fomina M. N., Yaroslavtsev A. A. Ecological plasticity and stability of collection samples of naked oats in the conditions of the Northern TRANS-Urals // Bioscience Research. 2020. Vol. 17. No. 2. Pp. 1183–1185.
10. Vlasov A. G., Khaletskiy S. P., Bulavina T. M. Formirovanie produktivnosti posevov ovsya pod vliyaniem razlichnykh srokov seva i norm vyseva semyan [Formation of productivity of oat crops under the influence of different sowing dates and seed sowing rates] // Zemledelie i selektsiya v Belarusi. 2021. No. 57. Pp. 88–98. (In Russian.)
11. Moiseeva M. N. Vliyaniye udobreniy na rost i razvitiye ovsya v lesostepnoy zone Zaural'ya [The effect of fertilizers on the growth and development of oats in the forest-steppe zone of the Trans-Urals] // Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2021. No. 1 (16). Pp. 32–36. (In Russian.)
12. Moiseeva M. N. Vliyaniye mineral'nykh udobreniy na urozhaynost' i kachestvo zerna ovsya v Severnom Zaural'e [Influence of mineral fertilizers on the yield and quality of oat grain in the Northern Trans-Urals] // IZVESTIYA Orenburg State Agrarian University. 2021. No. 4 (90). Pp. 35–38. (In Russian.)
13. Lapa V. V., Lopukh M. S. Fotosinteticheskaya produktivnost' rasteniy golozernogo ovsya v zavisimosti ot doz mineral'nykh udobreniy [Photosynthetic productivity of naked oat plants depending on the doses of mineral fertilizers] // Soil Science and Agrochemistry. 2009. No. 2 (43). Pp. 166–174. (In Russian.)
14. Moiseeva K. V. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' sortov yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh Severnogo Zaural'ya [Photosynthetic activity of spring soft wheat varieties in the conditions of the Northern Trans-Urals] // Vestnik Kyrgyzskogo natsional'nogo agrarnogo universiteta im. K. I. Skryabina. 2017. No. 4 (45). Pp. 189–191. (In Russian.)
15. Pryadun Yu. P., Lyubimova A. V., Tobolova G. V., Eremin D. I. Analiz genotipov selektsionnykh liniy ovsya posevnogo po allelyam avenin-kodiruyushchikh lokusov [Analysis of genotypes in breeding lines of oat in the alleles Avenyn-coding loci] // Vestnik KrasGAU. 2020. No. 11 (164). Pp. 106–113. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-11-106-113. (In Russian.)
16. Miller S. S., Fisunov N. V., Fedotkin V. A., Rzaeva V. V. Predposevnaya, posleposevnaya, osnovnaya obrabotka pochvy i posev sel'skokozyaystvennykh kul'tur v Tyumenskoj oblasti [Pre-sowing, post-sowing, basic tillage and sowing of agricultural crops in the Tyumen region]. Tyumen: Gosudarstvennyy agrarnyy universitet Severnogo Zaural'ya, 2020. 140 p. (In Russian.)
17. Gonchar-Zaykin P. P., Chertov V. G. Nadstroyka k EXCEL dlya statisticheskoy otsenki i analiza rezul'tatov polevykh i laboratornykh opytov [Add-in to Excel for statistical evaluation and analysis of results of field and laboratory experiments] // Ratsional'noe prirodopol'zovanie i sel'skokhozyaystvennoe proizvodstvo v yuzhnykh regionakh Rossiyskoy Federatsii: sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii "Razrabotka adaptivnykh sistem prirodookhrannykh tekhnologiy proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii v aridnykh rayonakh Rossii". Moscow, 2003. Pp. 559–565. (In Russian.)
18. Magaramov B. G., Muslimov M. M., Kurkiev K. U. Razvitiye listovoy poverkhnosti rasteniy ovsya pri razlichnykh sposobakh obrabotki pochvy [The development of the leaf surface of plants of oat under different methods of soil cultivation] // Dagestan GAU Proceedings. 2019. No. 4 (4). Pp. 88–91. (In Russian.)
19. Naumova N. A. Vyyavlenie fotosinteticheskogo potentsiala sortov yarovogo ovsya v Nizhnem Povolzh'e [Identification of the photosynthetic potential of the varieties of spring oats in the Lower Volga region] // The Agrarian Scientific Journal. 2021. No. 7. Pp. 31–34. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp31-34. (In Russian.)
20. Kolesnikova V. G. Priemy ukhoda za posevami, sposoby i sroki uborki ovsya sorta Ulov v Predural'e: dis. ... kand. s.-kh. nauk [Methods of crop care, methods and timing of harvesting oats of the Catch variety in the Urals: dissertation ... candidate of agricultural sciences]. Izhevsk, 2000. 149 p. (In Russian.)
21. Eremin D. I. Produktivnost' zernovogo s zanyatym parom sevooborota v usloviyakh Severnogo Zaural'ya: dis. ... kand. s.-kh. nauk [Productivity of grain with a busy steam crop rotation in the conditions of the Northern Trans-Urals: dissertation ... candidate of agricultural sciences]. Tyumen, 2002. 206 p. (In Russian.)
22. Demina O. N., Eremin D. I. Vliyaniye mineral'nykh udobreniy na nitratnyy rezhim i nitrifikatsiyu chernoze-ma vyshchelochennogo v Severnom Zaural'e [The influence of mineral fertilizers on the nitrate regime and nitrification of leached chernozem in the Northern Trans-Urals] // Agrochemical Herald. 2021. No. 2. Pp. 10–14. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-2-002. (In Russian.)

23. Lyubimova A. V., Eremin D. I. Osobennosti komponentnogo sostava aveninov ovsa, vozdelevaemogo v Zapadnoy Sibiri [Features of the component composition of avenins of oats cultivated in Western Siberia] // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2018. T. 179. No. 2. Pp. 85–95. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-2-85-95. (In Russian.)
24. Mykhlyk A. I., Duktova N. A. Otsenka fotosinteticheskoy deyatelnosti sortov ovsa posevnogo v zavisimosti ot urovnya azotnogo pitaniya [Assessment of photosynthetic activity of oat varieties depending on the level of nitrogen nutrition] // Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2015. No. 3. Pp. 130–137. (In Russian.)
25. Shulepova O. V., Belkina R. I., Opanasyuk I. V. Barley yield analysis in the Russian federation // Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology. 2020. Vol. 21. No. 71–72. Pp. 181–192.

Authors' information:

Anna V. Lyubimova¹, candidate of biological sciences, head of the laboratory for genomic research in crop production, ORCID 0000-0002-1570-9595, AuthorID 819322; +7 952 341-08-87, ostapenkoav88@yandex.ru

Dmitriy I. Eremin¹, Doctor of biological sciences, associate professor, senior researcher of the laboratory of agriculture, ORCID 0000-0002-3672-6060, AuthorID 318870; +7 912 927-13-86, soil-tyumen@yandex.ru

¹The Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – the branch of the Tyumen Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia